

Zonificación en cuencas hidrográficas para la implementación de políticas de incentivos a la conservación y restauración de ecosistemas. Caso Cuenca Hidrográfica del Río Buena Vista, Ecuador

Zonification in watersheds to implement incentive policies for the conservation and restoration of ecosystems. Case River Watershed Buena Vista, Ecuador

Ana Cecilia Coral

Magíster en Geografía, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”,
Presidente Prudente, Brasil.

Correo electrónico: anacorallo@yahoo.es

Resumen

En este trabajo se presenta la metodología general desarrollada para la elaboración de una propuesta de zonificación que prioriza la conservación y restauración de ecosistemas con énfasis en la producción de agua. El proceso metodológico incluyó el diseño y aplicación de un modelo de Balance Hídrico Climático (BHC) espacialmente distribuido, para calcular la condición hídrica en función de la cobertura vegetal y de las condiciones climáticas locales. El enfoque del estudio fue dirigido a destacar las funciones de los ecosistemas riparios en la dinámica hidrológica. Las áreas priorizadas para conservación y restauración fueron definidas en base a la cobertura actual de la tierra y a la revisión de conceptos y criterios sobre la eficiencia de la zona riparia en la estabilidad ecológica de la cuenca. Se dió prioridad al uso de información oficial y de imágenes satelitales de libre acceso, lo que supone confiabilidad y disponibilidad de los datos y reduce los costos en el diseño e implementación de la metodología. El estudio se desarrolló en el contexto político-institucional del Ecuador en una cuenca hidrográfica localizada en la costa del pacífico. Palabras clave: conservación, restauración, cuenca hidrográfica, servicios ecosistémicos, modelamiento espacial.

Palabras clave: Conservación, restauración, cuenca hidrográfica, balance de agua, servicios ecosistémicos, modelo espacial.

Abstract

This study aims at developing and implementing of a methodology for territorial zoning with emphasis on conservation and restoration of ecosystems in Ecuador's political and environmental context, having as a reference the national system of incentives Socio Bosque program of the Ministry of Environment of Ecuador. The proposed methodology is developed on the spatial structure of the watershed, understanding it as a system where biophysical and socioeconomic subsystems are integrated on a inter-dependent relationship. The landscape analysis is applied as methodological strategy for the integration of the natural and anthropogenic components. Based on the review of consistent methodologies and by using map algebra, was generated a continuous surface model to get a water balance for simulating the effect of the vegetation on the water condition. This characterization was incorporated to the analyses of the landscape. The identification of priority areas for conservation and restoration was made based on the concepts of “hydrological sensitive area” and

“variable source area”, which allowed definition of riparian zone. The methodological proposal allows to highlight the functions of riparian ecosystems within the hydrological dynamics of improving water production. The methodology was developed for tending to be cost-effective in relation to the available data. The conceptual and methodological approach of the study is consistent with the objectives of

the Socio Bosque program and was developed in the context of watershed tending to consolidate this paradigm in environmental management, but can be applied to other spatial cuts (ie Canton, province).

Key words: conservation, restoration, watershed, water balance, ecosystem services, spatial modeling.

Recibido: febrero 2016

Aceptado: mayo 2016

1. Introducción

Desde la actual Constitución del Ecuador (2008) se promueve la filosofía del “buen vivir” o *sumak kawsay* como paradigma de desarrollo (sostenible) para conciliar el progreso social, económico y cultural con la sustentabilidad de los ecosistemas. Esto implica la incorporación de aspectos políticos-jurídicos que orienten procesos de constructo social en convivencia armónica y respetuosa con la naturaleza. En ese afán, la misma Constitución reconoce a la naturaleza como sujeto de derechos (i.e. derecho a existir y a regenerarse), lo que marca un hito histórico y un nuevo paradigma en la relación ser humano-naturaleza. Y, el Estado orienta e impulsa la gestión pública en base a los principios del buen vivir a través del Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV).

Dentro este marco político, el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE) pone en marcha el Programa Socio Bosque (PSB) desde noviembre del 2008. El PSB fue propuesto como la estrategia nacional de incentivos económicos para la conservación de ecosistemas con el propósito de reducir la deforestación y las emisiones de CO² asociadas y mejorar las condiciones de vida de las poblaciones rurales. Actualmente, el PSB se ha constituido en el sistema nacional de incentivos a la conservación, manejo sostenible y restauración de ecosistemas, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos del PNBV y a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM).

El esquema operativo del PSB considera el uso de dos herramientas de zonificación: el modelo de priorización geográfica para el ingreso de las áreas de conservación y, el modelo de áreas potenciales para la restauración. El primer modelo tiene el propósito de concentrar los esfuerzos de conservación en función de tres criterios: a) nivel de amenaza, b) provisión de servicios ambientales (regulación hídrica, refugio de biodiversidad y fijación de carbono) y, c) condiciones de pobreza. El segundo modelo pretende priorizar la restauración conforme a la generación de los siguientes servicios ambientales: agua (calidad, cantidad y regulación hídrica), riesgos (deslizamientos), refugio de biodiversidad (zonas de amortiguamiento, corredores biológicos y vacíos de conservación). Es decir, ambos modelos consideran los servicios de provisión de agua y regulación hidrológica como criterio prioritario; sin embargo no llegan a tener un enfoque de cuencas hidrográficas, los ejercicios de integración y valoración de las variables no consideran relaciones o comportamiento en la cuenca hidrográfica.

Por otro lado, el paradigma de cuencas en la gestión ambiental es una tendencia a nivel global. En Ecuador, este enfoque fue incorporado en la Constitución y en el marco legislativo que le sucede (Ley de Aguas del 2014), a través de los cuales se promueve la gestión de cuencas hidrográficas para la conservación y la restauración del patrimonio natural del país. La gestión de cuencas hidrográficas permite optimizar las funciones hidrológicas y ecológicas de los ecosistemas, lo que resulta en múltiples beneficios para las poblaciones, tales como: producción de agua, regulación hídrica y climática, control de nutrientes y refugio de biodiversidad.

Conforme a lo expuesto, este estudio propone la zonificación a nivel de cuenca hidrográfica para priorizar áreas de conservación y restauración, puesto que ese enfoque permite orientar las acciones de conservación y restauración en zonas sensibles en la dinámica hidrológica, lo que a su vez contribuye a mejorar las condiciones de vida asociadas con la mejora en la producción de agua.

2. Área de Estudio

El caso de estudio fue desarrollado en la región costa de Ecuador, en la Cuenca Hidrográfica del Río Buena Vista (CHRB). En esta zona predomina el paisaje rural y la población local vive en condiciones de pobreza por necesidades básicas insatisfechas, principalmente debido a las serias limitaciones de agua en la época seca que dura entre 8 a 9 meses al año. La CHRB se encuentra en el suroeste de la provincia de Manabí, situada entre los meridianos: 80,81° - 80,52° Oeste, y los paralelos 1,41° - 1,59° Sur. Ocupa una superficie de 28.160 hectáreas (281,6 Km²). En la Figura 1 puede observarse la localización de la CHRB.

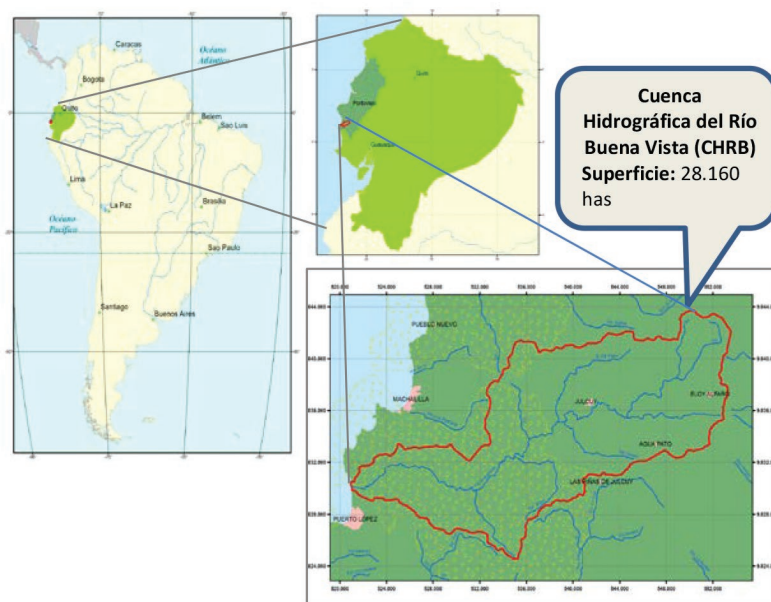


Gráfico 1. Localización de la CHRB

3. Fundamentos Teóricos

El presente estudio considera los fundamentos teóricos de la Geoecología¹ y la Teoría de Geosistemas, orientados al planeamiento y a la gestión ambiental en el marco del Desarrollo Sostenible. Esto implica un abordaje sistémico con enfoque transdisciplinario² para incorporar conceptos que permitan una interpretación geográfica sobre la estructura y la funcionalidad de la CHRB, de modo de identificar zonas sensibles en las cuales enfocar prácticas ambientales de conservación y restauración con énfasis en la generación de agua. En ese sentido, durante el desarrollo de la estrategia metodológica, la cuenca hidrográfica es tratada como un geosistema (sistema complejo) y desde esa lógica se ha interpretado y caracterizado la estructura de la CHRB mediante un enfoque de Análisis Integral del Paisaje, el cual considera la relación del subsistema socioeconómico y el subsistema ambiental.

Complementariamente, se realizó el análisis de la funcionalidad de la CHRB considerando fundamentos metodológicos de Hidrología Forestal para el modelamiento del balance hídrico asociado al complejo suelo-vegetación, así como para la identificación de las zonas sensibles (zona riparia).

En el marco del Desarrollo Sostenible, este trabajo enfatiza en la salud de la cuenca hidrográfica y el bienestar humano. Desde ese enfoque, se entiende por recursos naturales a los cuerpos y fuerzas de la naturaleza que pueden ser usados, desde la perspectiva de desarrollo y progreso socioeconómico, para satisfacer necesidades humanas. En ese mismo sentido, se adoptó las definiciones de servicios ecosistémicos y servicios ambientales establecidas en el documento de Evaluación Ecosistémica del Milenio³ (EEM) del 2005, entendiendo por “servicios ecosistémicos” a aquellos beneficios generados por los ecosistemas sin intervención humana y, por “servicios ambientales” a los beneficios decurrentes de iniciativas antrópicas en favor de los sistemas ecológicos.

4. Metodología

La metodología general desarrollada en este estudio se esquematiza en la Figura 1 y a continuación se describen los procesos realizados.

¹ La Geoecología puede ser considerada análoga a la Ecología de Paisajes y en el caso de este estudio se ha decidido interpretar una ligera diferencia asociada al enfoque. En el caso de la primera, el estudio del paisaje tiene mayor enfoque en lo funcional, y la geología incorpora a este enfoque, la dimensión de estructura.

² Para Montoya (2009) apud Rodríguez et al (2010) la fundamentación teórica y metodológica sobre una base geográfica permitiría de manera consistente constituir un desarrollo con categoría transdisciplinar (Rodríguez et al, 2010, p. 59)

³ Informe-Síntesis de la Evaluación Ecosistémica del Milenio-Borrador Final (2005), disponible en <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>. Acceso en 10/04/2015.

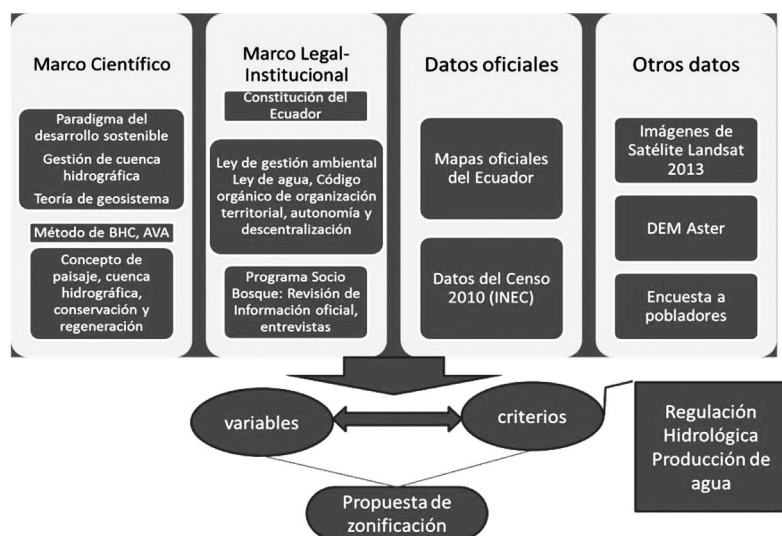


Figura 1. Esquema de la Metodología General

Definición del marco científico

Se realizó la revisión de literatura científica para incorporar las bases conceptuales y teóricas del paradigma de desarrollo sostenible y de la teoría de geosistemas. En el siguiente nivel (más específico), se incorpora el paradigma de manejo integral de cuenca hidrográfica y se incluye el método de balance hídrico climático (BHC), concepto de zona riparia y áreas hidrológicamente sensibles, para los modelamientos espaciales.

Definición del marco legal-institucional

Se realizó la revisión del texto constitucional, y de otros documentos legales del Ecuador relacionados a la gestión ambiental, en general y del PSB, en particular. De esta manera se pudo contextualizar el estudio al marco político-institucional del Ecuador.

Revisión y producción de datos

Sistema Socio-económico: El componente socioeconómico fue caracterizado en base a los datos del último censo nacional, de la realización de encuestas y entrevistas a los pobladores y a la revisión de otros estudios. En la siguiente tabla se muestran las características de los datos usados para la caracterización del sistema socioeconómico.

(Ver cuadro 1)

Cuadro 1. Valor del Sistema Socio-económico

Fuente	Año	Autor/Responsable	Tipo
Censo Nacional	2010	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC)	Oficial
Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial (PDOT)	2012	Gobierno parroquial de Julcuy	Otros estudios
Análisis de línea base para el diseño de un sistema de incentivos para el manejo sostenible de la tierra, en la parroquia Julcuy, cantón Jipijapa, provincia de Manabí.	2008	ECOPAR	Otros estudios
Encuesta a 62 hogares	2014	Ana Coral	Levantamiento in situ
Entrevista a 8 líderes comunales	2013	Ana Coral	Levantamiento in situ

Sistema Biofísico: El sistema biofísico fue caracterizado en base a la información de mapas oficiales, y a la elaboración propia del mapa de cobertura de la tierra y el modelo de elevación digital (MDE), los cuales fueron generados a partir de fuentes primarias. En la siguiente tabla se muestran las características de la información que fue usada para la caracterización del sistema biofísico (Ver cuadro 2).

Cuadro 2. Datos del Sistema Biofísico

Información	Año	Fuente	Tipo
Mapa de Ecosistemas (incluye modelo bioclimático) a escala 1:100.000	2013	Ministerio de Ambiente del Ecuador	Oficial
Mapa de Tipo de Suelo a escala 1:300.000	2012	Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador	Oficial
Imagen Satélite LANDSAT 8 de 30 metros de resolución	2013	LANDSAT	Fuente primaria
Global ASTER SRTM de 30 metros de resolución	2013	ASTER	Fuente primaria

Generación de Variables

Cobertura de la tierra: se generó a partir de la imagen satelital Landsat8 del 19/08/2013, disponible en el portal del U.S. Geological Survey en: <http://glovis.usgs.gov/> . Mediante una clasificación no supervisada (isoclúster) que posteriormente, fue editada de forma manual a través de una interpretación visual. Se clasificó en tres clases: Bosque, sabana arbustiva y área intervenida. En la figura 2 se muestra el resultado de la clasificación de la cobertura actual de la tierra en la CHRB.

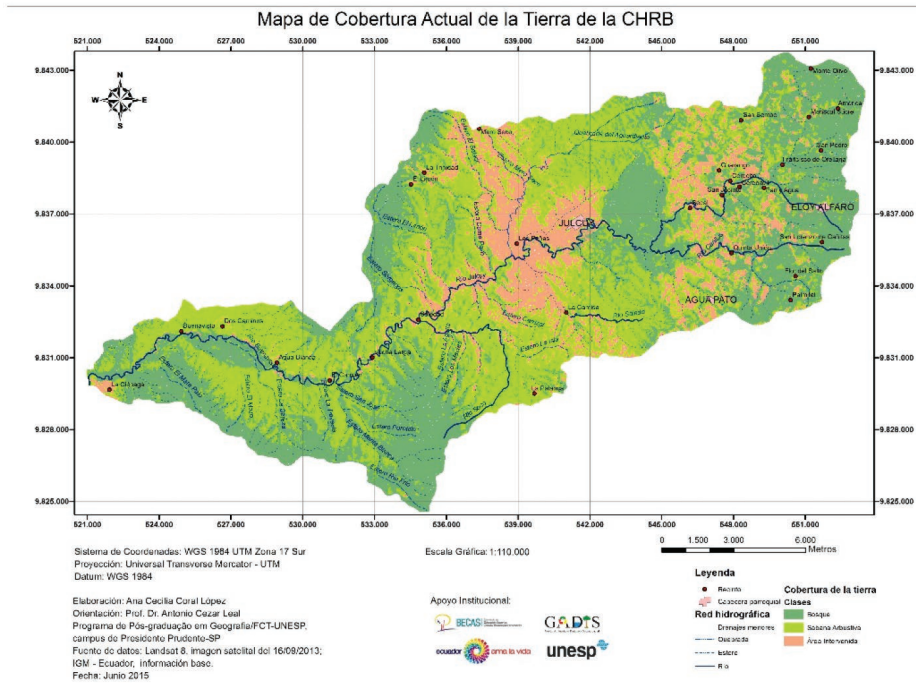


Figura 2. Cobertura actual de la tierra

Relieve, Altimetría y Pendientes: fueron generados a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) basado en el ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) (Ver figura 3).

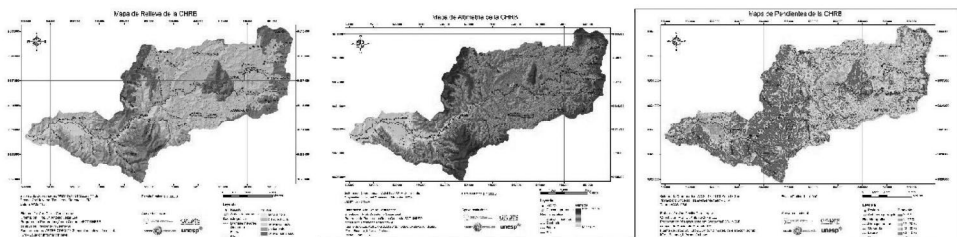


Figura 3. Relieve, altimetría y pendiente

Clima: La caracterización sobre clima se realizó a partir de los modelos de precipitación y temperatura que fueron previamente organizados y generados por el MAE para la elaboración del Mapa de Ecosistemas del Ecuador (2013). Estos modelos tienen una resolución espacial de 1 kilómetro. Se realizó el recorte espacial sobre el límite de la CHRB (Ver figura 4).

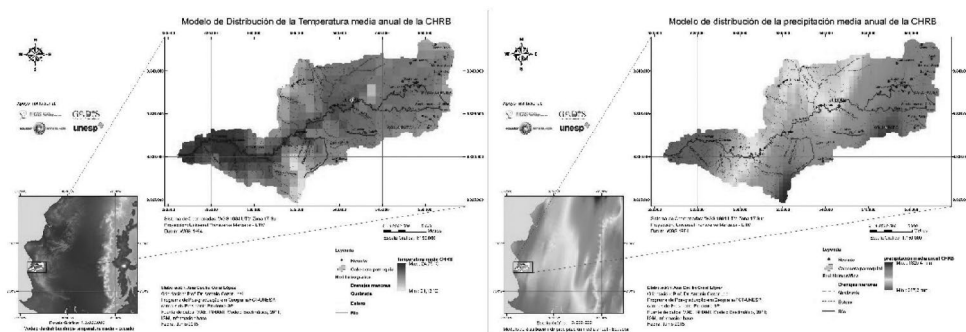


Figura 4. Distribución de la temperatura y precipitaciones.

Ecosistemas: organizado a partir del mapa de ecosistemas generado por el MAE (2013) que se encuentra a escala 1:100.000 y que corresponde a un sistema estandarizado para ser homologado a nivel regional (América Latina), servir de base para un sistema de monitoreo sobre dinámicas ecosistémicas y para determinar el estado de conservación de ecosistemas y de especies (MAE, 2013).

Condición Hídrica: Modelamiento Espacial

En el contexto espacial de la CHRB y mediante el uso de herramientas SIG, se diseñó y aplicó un modelo de Balance Hídrico Climático (BHC) espacialmente distribuido para caracterizar espacio-temporalmente las condiciones hídricas del área de estudio. La metodología fue establecida siguiendo el método clásico del Balance Hídrico Climático (BHC) propuesto por Thornthwaite y Mather (1955) y con base en la información disponible. El modelo del BHC permite calcular las variables del sistema hídrico a partir de la definición de la capacidad máxima de agua disponible en el suelo (CAD), las medidas (promedio o totales) de precipitación y del estimado de la evapotranspiración potencial siguiendo la metodología de Thornthwaite.

La simulación del BHC se realizó mediante la aplicación de álgebra de mapas a superficies continuas. Los productos intermedios y finales de este ejercicio son capas ráster o matrices espacio-temporales que representan la condición hídrica promedio a escala temporal (mensual) y espacial (píxel) en la cuenca de estudio. En el modelo de BHC los parámetros usados corresponden a la información sobre el tipo de suelo: textura y profundidad; y a los parámetros climáticos: precipitación y temperatura promedio. La figura 5 representa los datos de entrada que son una serie de matrices (rásters) de superficie continua con valores de precipitación y temperatura promedio mensual y que corresponden a los valores de variabilidad espacial y temporal durante los 12 meses de un año promedio en la CHRB:

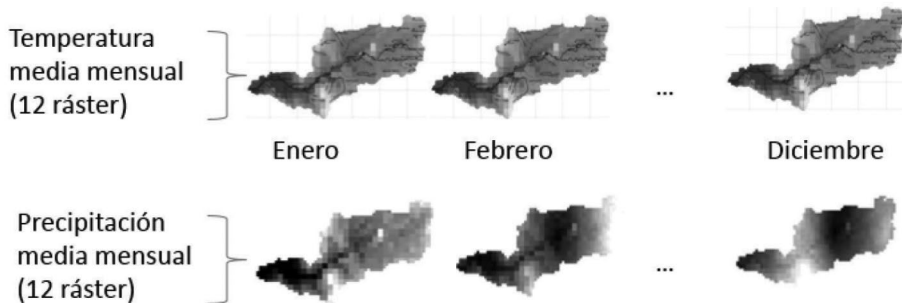


Figura 5. BCH-Datos de entrada

Una variable relevante para el cálculo del BHC es la capacidad de agua que puede recargar el suelo, de la que se abastecen las plantas, también llamada capacidad de almacenamiento de agua CAD. Esta variable fue generada a través de la combinación de las variables de: cobertura de la tierra y de textura del suelo, y posteriormente, fue asignado un valor de CAD mediante la adaptación de los valores estimados por Martínez et al (2003) según el tipo de complejo vegetación-suelo. De esta manera fue posible obtener un ráster de superficie continua con el valor CAD. En la figura 6 se muestra este proceso.

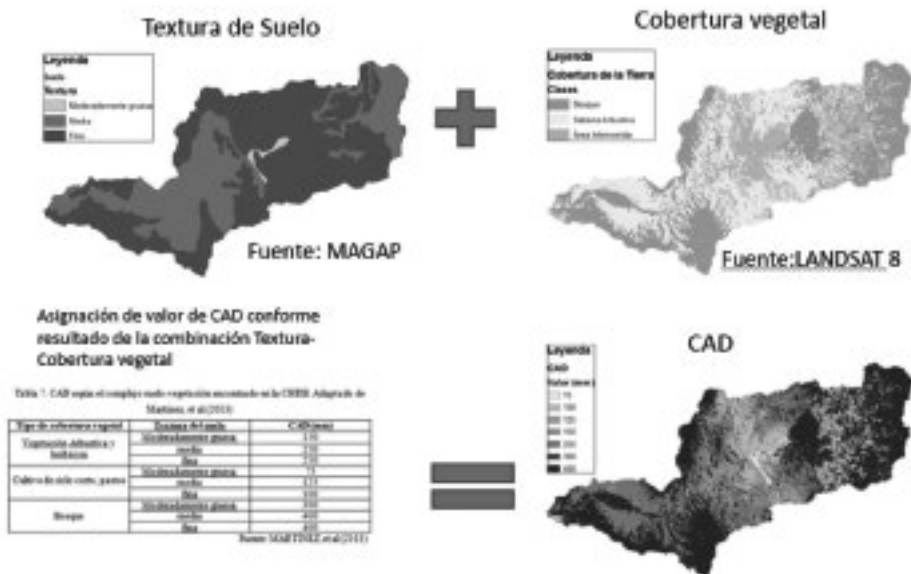


Figura 6. BCH-Generación de CAD

Posteriormente, se desarrolló y aplicó una serie de rutinas de álgebra de mapas para simular las relaciones (contabilidad) del balance hídrico siguiendo la metodología simplificada de Tommaselli (2005) y Pereira (2005). En total se generaron 99 matrices ráster, que corresponden a los elementos (resultados parciales y finales) del BHC, entre ellos la evapotranspiración potencial mensual, las pérdidas y ganancias hídricas potenciales, evapotranspiración real, excedente y déficit hídrico, entre otros. La condición hídrica se refleja mediante la combinación de las matrices de excedente hídrico EXC y deficiencia hídrica DEF para los 12 meses del año, el resultado de esta combinación muestra la distribución espacial del déficit-excedente hídrico en la cuenca hidrográfica así como la variabilidad mensual durante un año típico. En la figura 7 se muestra el resultado final de la corrida del modelo del BHC en la CHRB que corresponde a la dinámica espacio -temporal de la condición hídrica en un año típico.

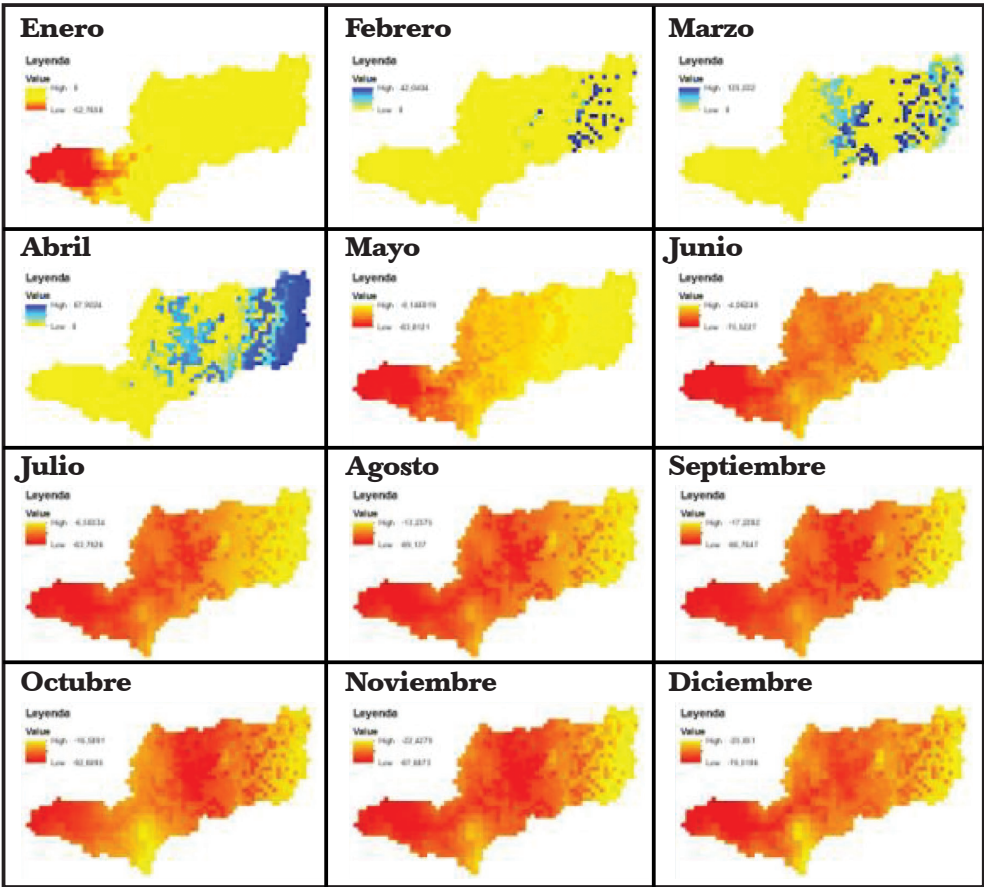


Figura 7. Resultado final del modelo BCH en la CHRB

Integración de variables-Análisis Integral de Paisaje

El Análisis Integral del Paisaje es una de las estrategias metodológicas para estudiar el espacio geográfico desde una perspectiva sistémica, holística e integradora del

binomio sociedad-naturaleza (Rodríguez, 2012) y en el contexto de este estudio fue aplicado para interpretar (caracterizar) la estructura socioeconómica y biofísica de la CHRB. En esta tentativa de análisis desde la perspectiva geoecológica, en ambiente de SIG, se realizó la integración de los sistemas socioeconómico y biofísico. La integración y análisis de variables se realizó sobre las unidades de geoforma (altimetría-declividad), las cuales fueron derivadas del Modelo Digital de Elevación de la imagen ASTER SRTM de 30 metros de resolución.

Resultados del Análisis: Paisajes de la CHRB

En función de facilitar la integración con los datos socioeconómicos y de efectivizar la gestión a cargo de los gobiernos locales (GAD), se realizó la división de la cuenca en tres zonas para analizar las unidades de paisaje antroponatural de la CHRB. La delimitación de las tres zonas está en relación con la morfología de la cuenca y tiene correspondencia con las unidades político administrativas. En ese sentido, la Zona 1 corresponde al curso superior o cuenca alta de la CHRB y pertenece (político-administrativamente) a dos parroquias (América y El Anegado). La zona 2 corresponde al curso medio o cuenca media de la CHRB, y pertenece administrativamente a la parroquia de Julcuy. Y finalmente, la zona 3 se encuentra en el curso inferior o cuenca baja, donde se asientan las poblaciones pertenecientes a dos parroquias (Machalilla y Puerto López). A continuación se describen las características paisajísticas de las zonas mencionadas:

Paisajes de la Zona 1: Cuenca Alta de la CHRB

Características del paisaje antroponatural: La zona ocupa el 22% del área total de la CHRB. Predomina el paisaje colinado (58%) que corresponde a 3.521 has, y se encuentra intervenido en un 25%, ocupado por asentamientos humanos y cultivos de ciclo corto, principalmente de maíz. También se puede encontrar combinaciones de bosque-cultivo. El área de cordillera (2.543 has) se conserva en su estado natural en un 94% y en un 6% intervenido con fragmentos de suelo desnudo (tala selectiva). Esta zona presenta dos tipos de ecosistemas del sector biogeográfico de la Cordillera Costera del Pacífico Ecuatorial, que son de característica “siempreverde estacional” y cuya especificidad está relacionada con la sucesión altitudinal (montano y piemontano)

Condición Hídrica: Es la zona con mayor capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, con un promedio de 385 mm. En consecuencia, presenta las mejores condiciones hídricas dentro del contexto de la CHRB. El modelo de BHC realizado indica que desde el mes de febrero comienzan a aparecer sitios con excedentes de humedad en el suelo los cuales comienzan a extenderse hasta ocupar casi la totalidad de esta zona en el mes de abril. La condición hídrica (mejor en relación a la cuenca) y el relieve colinado bajo, explican la preferencia de ocupación de esta zona para actividades agrícolas, principalmente de cultivos de maíz, principal actividad de las poblaciones asentadas en la CHRB.

Paisajes de la Zona 2: Cuenca Media de la CHRB

Características del paisaje antropo-natural: Ya en esta zona predominan los relieves bajos y planos, con la presencia del valle o planicie aluvial ocupando el 8% del área de la zona y el relieve colinado con el 63%. Esta zona es la más intervenida (24%) de la CHRB. La intervención de la llanura aluvial (62%) y del relieve colinado (28%) se debe a los asentamientos humanos, en esta zona se concentra la mayor población de la parroquia Julcuy y de la CHRB, pues se asienta la cabecera parroquial. También hay presencia de pastoreo y cultivos combinados con bosque, fragmentos de suelos sin cubierta vegetal. La vegetación predominante de esta zona es del tipo deciduo: el bosque bajo arbustal deciduo de tierras bajas (hasta los 200 metros) y el bosque deciduo de la Cordillera Costera del Pacífico Ecuatorial (200-400 metros).

Condición Hídrica: El promedio de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo es de 321 mm, siendo la capacidad más alta en el valle aluvial con 400 mm. Conforme el modelo de BHC, en los sitios que corresponden a los asentamientos (cabecera parroquial Julcuy y recintos Las Peñas y Las Pampas), desde el mes de febrero se generan excedentes hídricos, hasta el mes de marzo y abril.

Paisajes de la Zona 3: Cuenca Baja de la CHRB

Características del paisaje antropo-natural: En esta zona predominan los relieves bajos y pendientes menores al 12%. La llanura litoral (0-50m) ocupa el 14% del área, las colinas bajas (pendiente menor al 12%) ocupan el 36%, y hay presencia de una zona de cordillera (17%). Es la zona con menor intervención antrópica (2%) de la CHRB. Los ecosistemas que predominan en esta zona corresponden a los de tierras bajas. Hay presencia de bosque deciduo y semideciduo de tierras bajas, y ya en los relieves de montaña se encuentran las formaciones vegetales de bosque deciduo de cordillera costera del pacífico ecuatorial y de bosque siempreverde estacional piemontano de la cordillera costera. El área intervenida corresponde a los asentamientos humanos concentrados a lo largo del curso principal de la CHRB.

Condición Hídrica: El promedio de la capacidad de agua disponible es de 337,2 mm. En esta zona no se presentan excedentes de humedad en ninguna época del año.

Delimitación de la zona riparia

De acuerdo al marco teórico adoptado en este estudio, se ha asociado a la zonas riparias el concepto de área de contribución variable (ACV), puesto que son áreas con la mayor probabilidad de saturación (por su cercanía al nivel freático) y por consiguiente, influyen en los procesos de escurrimiento e infiltración durante los eventos de lluvia.

El método del índice topográfico de humedad (ITH) propuesto por Beven y Kirby (1979), determina la distribución espacial de la humedad del suelo en función de la topografía, en ese sentido se asocia al concepto de área de contribución variable (AVC) y probabilidad de saturación. El ITH o TWI, por las siglas en inglés de Topographic Wetness Index, es comúnmente usado para la predicción de áreas saturadas (CAI, WANG,

2006; BATES, 2008; GRABS et al, 2009) y también ha sido usado en otros estudios (LYON et al, 2004; SILVA, 2012) para delimitar las ACV. El ITH es un método espacialmente distribuido y continuo, que se genera a partir de un modelo digital de elevaciones (MDE). El principio del ITH establece que, la humedad del suelo aumenta mientras mayor sea el área de contribución y menor el gradiente de la pendiente. El ITH es una función logarítmica del área de contribución, la cual está representada por el píxel. En ese contexto sea α , el área de contribución en metros cuadrados, y β , la declividad expresada en grados radianes, entonces el ITH viene dado por la ecuación:

$$ITH = \ln \left(\frac{\alpha}{\tan(\beta)} \right)$$

La generación del ITH fue realizado en el ambiente de QGIS⁴ usando la herramienta *topographic wetness index* de Terrain Analysis-Hidrology del módulo SAGA. El ITH de la CHRB fue generado en base al modelo de elevación de 30 metros de resolución del Aster Global Digital Model (GDEM) disponible en el portal del U.S. Geological Survey en: <http://glovis.usgs.gov/>

Una vez obtenido el ITH espacialmente distribuido para toda el área de la CHRB, se procedió a realizar una clasificación en dos categorías usando el método “natural break” (jenks) de manera de maximizar las diferencias entre ambas clases y consecuentemente, establecer el rango del ITH más representativo de las ACV en el contexto espacial de la CHRB. Las áreas sensibles de humedad ocupan el 6,2% del área de la CHRB con una superficie de 1.749,5 hectáreas. El 36,1% de estas áreas presenta intervención antrópica.

En la figura 8 se muestra el resultado de las áreas hidrológicamente sensibles en la CHRB.

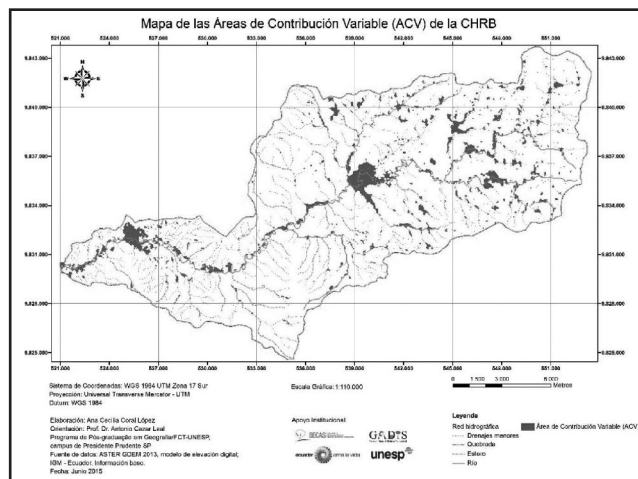


Figura 8. Áreas hidrológicamente sensibles

⁴ Software para descarga gratuita disponible en: <http://www.qgis.org/es/site/forusers/download.html>

Definición de Criterios

Se establecieron los criterios de protección de la zona riparia en base a la legislación ambiental ecuatoriana y a la revisión de experiencias sobre la eficiencia del ancho de protección de fuentes de agua. Finalmente la delimitación de la zona riparia y los criterios de protección fueron contrastados con la cobertura actual de la tierra para proponer las zonas prioritarias de conservación y restauración con énfasis en la producción de agua.

Con base en la revisión bibliográfica (MAE, 2007; Brasil, 2012; SILVA, 2008, CNRJ) se tiene variadas estimaciones sobre cuál es el ancho efectivo de la franja de protección alrededor de los cauces, nacientes y otras zonas húmedas. Al respecto, alrededor de los cursos de agua, la legislación ecuatoriana recomienda⁵ 15 metros, el Código Forestal de Brasil establece 30 metros, y la Connecticut River Joint Commissions (CNRJ) establece un ancho de hasta 90 metros para garantizar la integridad de las funcionalidades ecosistémicas de la zona riparia. Bajo este contexto y considerando las condiciones hídricas de la CHRB, se establecieron los siguientes lineamientos para delimitar la zona riparia, la cual deberá ser protegida o restaurada en el caso de que se encuentre intervenida:

- 30 metros de protección en el cauce de los ríos y quebradas.
- 30 metros de protección en las áreas sensibles de humedad (ACV).
- 100 metros de protección en las nacientes

Para los fines del PSB se trabajó con dos categorías: conservación y restauración. Luego de la delimitación de la zona riparia, esta fue contrastada con la cobertura de la tierra, de manera de identificar las áreas intervenidas y proponer su restauración. Así, las áreas identificadas en la categoría de conservación corresponden a aquellas que presentan su cobertura natural, mientras que las áreas de restauración corresponden a las zonas que presentan intervención antrópica (i.e. asentamientos, cultivos, suelos desnudos).

⁵ Para regiones de bosque seco.

5. Resultados

En el cuadro 3 se muestran los resultados de las categorías de conservación y restauración por unidad de gestión ambiental.

Cuadro 3. Categorías de conservación y restauración

ZONA	Geoforma	Ecosistema	Bioclima	Zona de Conservación (has)	Zona de Restauración (has)
1	Cordillera costera	Bosque siempreverde estacional	pluviestacional	268	15
	Relieve colinado	Bosque siempreverde estacional	pluviestacional	702	217
TOTAL ZONA 1				970	232
2	Cordillera costera	Bosque siempreverde estacional	pluviestacional	388	15
	Relieve colinado	Bosque deciduo	xérico	1126	663
	Piedemonte	Bosque deciduo y semideciduo	xérico	112	18
	Planicie aluvial	Bosque bajo y arbustal deciduo	xérico	132	376
TOTAL ZONA 2				1758	1071
3	Cordillera costera	Bosque siempreverde estacional	pluviestacional	140	0
	Relieve colinado	Bosque deciduo	xérico	698	24
	Piedemonte	Bosque semideciduo	pluviestacional	392	1
	Planicie aluvial	Bosque semideciduo	pluviestacional	79	13
	Llanura litoral	Bosque semideciduo	pluviestacional	425	33
TOTAL ZONA3				1734	71

En la figura 9 se presenta el mapa resultado de la zonificación para el mejoramiento de la funcionalidad hídrica: zona de conservación y zona de restauración.

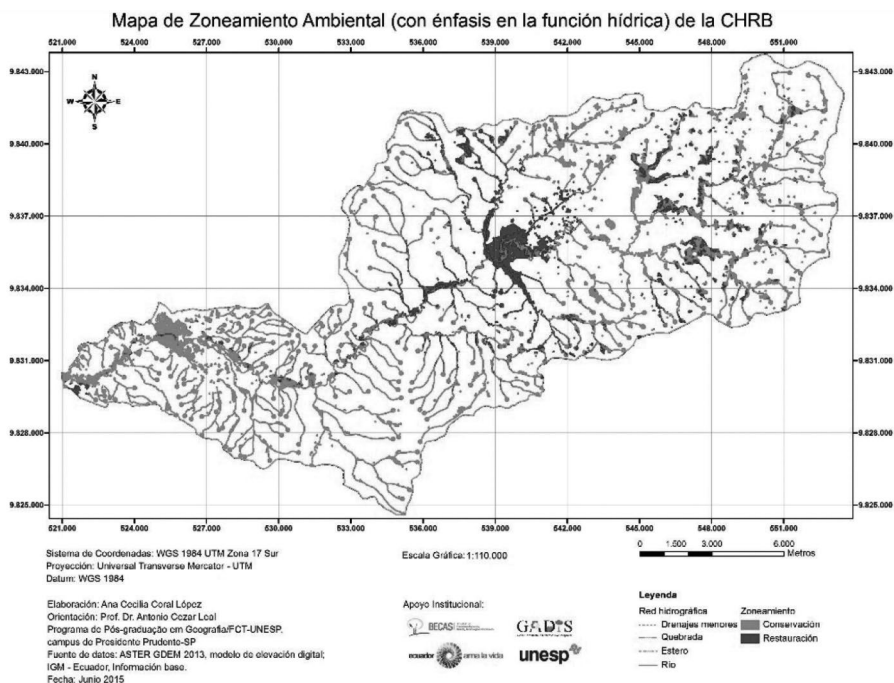


Figura 9. Zoneamiento ambiental con énfasis en la función hídrica

Las áreas con vegetación nativa de la zona riparia suman un total de 4.461,8 hectáreas, lo que indica un aproximado⁶ de USD \$. 31.232,6 de incentivo anual por el ingreso de estas áreas al capítulo de conservación del PSB. Si bien este incentivo no representa una cantidad significativa distribuido entre los pobladores de la CHRB, sin embargo podría representar un capital de ahorro en el tiempo⁷ que puede servir para apoyar iniciativas colectivas de realizar actividades sustentables considerando las condiciones ambientales de la CHRB, por ejemplo el ecoturismo.

Del análisis realizado sobre los elementos del paisaje y la zona riparia, se deriva una cuestión interesante que refuerza la idea de priorizar la conservación de las zonas riparias. Realizando el cruce espacial entre el grado de las pendientes y la cobertura de la tierra, puede evidenciarse que la pendiente actúa en el paisaje como un factor restrictivo frente a la intervención antropogénica, permitiendo que se mantenga la cobertura natural en las áreas con fuerte pendiente. El resultado del cruce de las entidades espaciales: pendientes y cobertura de la tierra, ambas generadas a partir de imágenes de 30 metros de resolución espacial, establece que sólo el 9,8% de las zonas con fuertes pendientes (mayores al 30%) presentan áreas intervenidas, lo que contrasta con el 36% de las áreas sensibles (ACV) intervenidas en la CHRB. Esto puede considerarse un argumento más a favor de colocar mayores esfuerzos para la conservación de estas áreas considerando que son áreas vulnerables y que están más amenazadas.

⁶ Es un valor referencial calculado en función del valor de USD\$. 7,00 /ha/año estimado como promedio del incentivo de PSB-conservación en predios colectivos.

⁷ El convenio de conservación del PSB tiene una duración de 20 años.

Para mejorar la funcionalidad hidrológica de la CHRB es necesario restaurar la zona riparia que se encuentra intervenida en un 24%. Esto implica la restauración o recomposición florística de 1.373,4 hectáreas en la CHRB.

El ejercicio del BHC realizado en la CHRB demuestra que la condición hídrica no se distribuye uniformemente en la extensión espacial de la cuenca. Así, existen áreas que concentran condiciones de humedad mientras que otras se mantienen en condiciones de deficiencia hídrica. Para lograr efectividad en el proceso de restauración es necesario considerar la condición hídrica del área de interés, esto confirma la importancia del BHC como herramienta de planificación y gestión ambiental.

De igual manera el régimen hídrico se distribuye en función del tiempo. En el caso de la CHRB existen sitios localizados con exceso de humedad en los meses de febrero, marzo y abril. Los resultados del BHC confirman que el mes de abril presenta los mayores excedentes de humedad, tanto en su nivel de concentración como en extensión superficial.

Con base en la condición hídrica del mes de abril que resultó del modelo del BHC, se identificó que el 65,6% de las áreas seleccionadas por el GAD Julcuy se encuentran en sitios con excedente hídrico. Esto indica que dentro del contexto de la CHRB son áreas favorables para el crecimiento y desarrollo de las plantas, en consecuencia para garantizar la efectividad del proceso de restauración.

6. Consideraciones Finales y Recomendaciones

La cuenca hidrográfica como unidad de análisis ambiental, refuerza la idea de la integralidad ecosistémica y es ideal para simular los efectos de las acciones y políticas ambientales en diferentes escenarios. Adicionalmente, la cuenca hidrográfica como unidad de gestión promueve la integración de la gestión interinstitucional sobre la temática ambiental, así como de las diferentes unidades político-administrativas. En ese sentido, se pueden establecer roles específicos a cada unidad político-administrativa (GAD) para un manejo integral de la cuenca, esto incluye actividades de conservación, restauración, monitoreo y la valoración de los beneficios ambientales, sociales y económicos.

El modelo de BHC desarrollado, si bien presenta limitaciones en cuanto a precisión espacial, debido principalmente a la gruesa resolución (1 kilómetro) de la información de entrada (modelos de precipitación y temperatura), presenta una significativa coherencia espacial. Esto se evidencia en relación a la definición de las áreas hidrológicamente sensibles, que coinciden en más de un 58% con las áreas de excedente hídrico resultantes del BHC.

Por otro lado, y con base en el mapa actual de cobertura de la tierra, se verifica que hay una correspondencia espacial (localización) entre las áreas de asentamientos humanos y cultivos con los sitios de excedente hídrico que identificó el modelo del BHC. Luego de esta validación, se propone el BHC como herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la gestión ambiental-hídrica. Por el lado de la gestión hídrica, puede ser usado para identificar áreas sensibles relacionadas con la calidad y provisión de agua para consumo, competencia que en Ecuador recae en los GAD y en la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA); y por el lado de la gestión ambiental,

específicamente para el PSB, puede ser usado para la priorización de áreas de conservación y restauración, para la evaluación de impactos (servicios ambientales) de las áreas de conservación, para la generación de escenarios, entre otras aplicaciones. En ese contexto, se recomienda al PSB usar el método del BHC para efectivizar los procesos de restauración en sus distintas etapas:

- 1) Durante el proceso de selección de áreas de restauración, para seleccionar las áreas sensibles y con adecuadas condiciones hídricas.
- 2) Durante la elaboración del plan de gestión, para programar las distintas actividades de restauración conforme al patrón hídrico de la cuenca, lo cual optimizará los recursos invertidos en el proceso de plantación.
- 3) Durante el monitoreo y evaluación de los impactos (beneficios) ambientales asociados a la restauración, puesto que el modelo del BHC puede ser aplicado en base a distintos escenarios de acuerdo a la variable de cobertura de la tierra para mostrar el efecto de la vegetación sobre la condición hídrica.

El modelo del BHC se complementa con la delimitación de las zonas riparias. En ese contexto y en ausencia de datos, el ITH resulta ser un método eficiente para identificar áreas hidrológicamente sensibles, ya que lo único que requiere para su ejecución es un Modelo Digital de Elevación (MDE), el cual puede ser generado a partir de curvas de nivel (disponible en el portal oficial del SNI), o de modelos MDE ya generados.

En el proceso de delimitación de la zona riparia se recomienda aplicar el método del ITH sobre el contexto espacial de la cuenca hidrográfica, no sólo por la eficacia de los cálculos, sino también porque optimiza la clasificación de los valores del ITH para determinar las áreas susceptibles de humedad, evitando ingresar valores que pueden distorsionar el rango de variabilidad topográfica (ITH) de la cuenca.

7. Referencias Bibliográficas

Agência Nacional de Águas. Superintendência de Informações Hidrológicas. Dicionário de Termos Hidrológicos. Brasília, 2001.

Brasil. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução 145, de 12 de dezembro de 2012. Estabelece diretrizes para a elaboração de Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas e dá outras providências. Brasília, CNRH, 2012.

Dourojeanni, A., Jouravlev, A., Chávez, G. Gestión del Agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Disponible en: <http://www.cepal.org/drni/publicaciones/xml/5/11195/lcl1777-p-e.pdf>. Último acceso 06/11/2014.

MAE, Modelo Bioclimático Del Ecuador Continental, 2011.

Martínez Batlle, J.R., Tavarez San José, C. E., Díaz del Olmo, F., Cámara Artigas, R., Manual de Ordenamiento y Gestión de Cuencas, versión digital en pdf. Disponible en: http://www.geografiasica.org/wp-content/uploads/2013/02/manual_transferencia_ordenacion_cuencass_tecnicas_usando_ArcGIS.pdf. Último acceso en 6/11/2014.

Mendonça, P.V. Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo

de Thornthwaite-Mather. In: Congresso Luso-espanhol para o progresso das ciências, 24.,Madrid. Anais... Madrid, p.271-282, 1958.

Pereira, A.R. Simplificando o Balanço Hídrico De Thornthwaite-Mather, In: Bragantia, Campinas, v.64, n.2, p.311-313, 2005.

Thornthwaite, C. W. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev.. 38. 55-94, 1948.

Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, vol.VIII, n.1, p. 104, 1955.

Tommaselli, J.T.G. Balanço Hídrico. Roteiro de execução do balanço hídrico climático, versão digital en formato pdf. 2005.

Tommaselli, J.T.G. Rotina para cálculo do balanço hídrico climático em planilhas eletrônicas, versão digital en formato ods y xls, 2002.

